

川东地区白背飞虱迁入种群虫源地分布与降落机制

向薇薇¹, 曾伟², 陈星燎¹, 蒋春先¹, 封传红³, 马利³,
李庆^{1,*}, 杨群芳¹, 王海建¹

(1. 四川农业大学农学院, 成都 611130; 2. 四川达州市达川区植保植检站, 四川达州 635000;

3. 四川省农业厅植物保护站, 成都 610041)

摘要:【目的】本研究旨在确定四川达州白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 迁入虫源地及其降落机制, 以为川东地区白背飞虱预警和有效防控提供依据。【方法】运用大气质点轨迹分析平台 HYSPLIT4.8 对 1991–2013 年达州灯下白背飞虱主要迁入高峰日进行轨迹模拟, 并运用气象图形处理软件 Grads 对主要迁入高峰日进行气象背景分析。【结果】达州白背飞虱主要在 6–7 月迁入, 7 月份是迁入高峰期。6 月虫源主要来自广西西北、中部地区; 7 月虫源主要来自贵州中西部、北部, 广西西北部 and 云南东北部也可提供部分虫源。【结论】四川达州白背飞虱迁入虫源主要来自贵州大部, 部分来自云南东北部和广西西北部。由于气候条件和地形胁迫引起的降水、垂直气流和风向切变是白背飞虱大规模集中降落的主要原因。

关键词: 白背飞虱; 迁飞; 虫源地; 降落; 迁入; 轨迹模拟; 川东地区

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2015)03-0308-11

Source areas and landing mechanisms of the immigration populations of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) in eastern Sichuan, southwestern China

XIANG Wei-Wei¹, ZENG Wei², CHEN Xing-Liao¹, JIANG Chun-Xian¹, FENG Chuan-Hong³, MA Li³, LI Qing^{1,*}, YANG Qun-Fang¹, WANG Hai-Jian¹ (1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Plant Protection Station of Dazhou District of Dazhou City, Sichuan Province, Dazhou, Sichuan 635000, China; 3. Plant Protection Station, Department of Agriculture Sichuan Province, Chengdu 610041, China)

Abstract: 【Aim】 This study aims to determine the source areas and the landing mechanisms of the immigration populations of the white-backed planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera* (Horváth), in Dazhou, Sichuan Province, so as to provide a basis for the warning and effective control of this pest in eastern Sichuan, southwestern China. 【Methods】 Based on the data of the daily light-trap catches of *S. furcifera* in Dazhou from 1991 to 2013, the trajectory simulation and the meteorological background of immigration peaks of *S. furcifera* were analyzed by HYSPLIT 4.8 (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) and GRADS (Grid Analysis and Display System). 【Results】 The main immigration period of *S. furcifera* in Dazhou was from June to July, with a peak season in July. The mass immigration of *S. furcifera* into Dazhou in June was from the northwest and the central of Guangxi. In July, the major source areas were the central, west and north of Guizhou, and the secondary source areas were the northwest of Guangxi and the northeast of Yunnan. 【Conclusion】 The source areas of the immigration of *S. furcifera* in Dazhou of Sichuan province are located mainly in Guizhou, and partly in the northeast of Yunnan and the northwest of Guangxi. Due to the climate conditions and terrain stress precipitation, vertical airflow and wind shear are the main causes of large-scale landing of *S. furcifera*.

Key words: *Sogatella furcifera*; migration; source area; landing; immigration; trajectory simulation; eastern Sichuan

基金项目: 国家自然科学基金项目(31201504); 四川省农作物及畜禽育种攻关项目“主要农作物抗病虫性鉴定及监测技术服务”专题(2011nz20098-17)

作者简介: 向薇薇, 女, 1989 年 9 月生, 重庆万州人, 硕士研究生, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: xiangweiwei0914@126.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: liq8633@163.com

收稿日期 Received: 2014-10-13; 接受日期 Accepted: 2015-02-11

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 是一种广布性和迁飞性水稻害虫,20 世纪 90 年代以来,随着感虫杂交稻种植面积不断扩大,为害越发严重,成为我国水稻生产上的主要威胁之一(唐启义等,1998)。白背飞虱还可传播南方水稻黑条矮缩病,严重威胁我国水稻安全生产;近年来其暴发频率显著增加,造成水稻大量减产甚至绝收的情况屡见不鲜(赵悦等,2011)。我国在 20 世纪 80 年代初,对白背飞虱迁飞规律整体路径及异地预测展开了全方位的协作研究,摸清了其在我国的越冬北界和季节性南北往返迁飞的规律(邓望喜,1981;全国白背飞虱科研协作组,1981)。

轨迹分析是国内外研究昆虫迁飞轨迹的一种有效方法,是为了探明迁飞昆虫的迁入区与虫源区的对应关系而引入的各种大气扩散模型来进行轨迹计算的数值方法(封传红等,2003)。近年来,轨迹分析的方法已运用到稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*、草地螟 *Loxostege sticticatis*、白背飞虱、褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 等害虫的研究(胡高等,2007;张云慧等,2008;蒋春先等,2011)。

关于白背飞虱的发生规律、预测预报的研究有大量报道,我国的研究集中在中部、东部(丁建云等,1997;王政等,2011),而西南地区对其研究相对缺乏(沈慧梅等,2011;郑大兵等,2014)。西南稻区由于其地理位置、地形地势、气候特点和水稻种植制度等因素的影响,白背飞虱的迁飞和发生与我国其他稻区相比,特点有所不同(胡国文等,1982)。青藏高原-四川盆地地势形成“西南低涡”中尺度天气系统,产生诸如高压、低压、锋面、中尺度低涡、切变线、低空急流等不同天气系统而单独或相互作用,同时伴随着降水,再加上地方性环流,如山谷风等,是让西南地区大气动力背景发生变化的主要原因(党建涛,2007),也使得白背飞虱的迁飞和降落机制变得十分复杂和多变。因此,明确川东、川南发生

严重地区的虫源地分布及降落机制,对四川稻区白背飞虱监测预警意义重大。

据胡国文等(1982)研究,四川地区白背飞虱迁入始期和主要迁入路线由东向西推进,主害代的主要虫源迁入路径多、虫量大;夏季短、中距离迁飞频繁。达州位于中国西南地区,地处四川盆东平行岭谷区、盆中丘陵区、盆周低山区连接地带,特殊的地理位置使达州成为白背飞虱进川的重要通道。常年一季中稻种植面积 17.33 万 hm² 左右,一般 3 月中旬至 4 月上旬育秧,4 月下旬至 5 月中旬移栽,本地无越冬虫源,水稻上的白背飞虱均为外地迁入种群。地处达州地区中部的达川区(原达县),地势东南低、西北高,30°49′~31°33′N,平均海拔 880~1 050 m,是白背飞虱的常发区、重发区,其地理地势、气候特点及白背飞虱发生特点在该地区均具有明显的区域代表性(曾伟和李仁江,2011)。因此,研究明确该地区白背飞虱的虫源地分布,对川东稻区乃至四川稻区白背飞虱的监测都具有重要的预警作用。

本文采用 HYSPLIT4.8 平台对达州市达川区 1991–2013 年的 6–7 月白背飞虱迁入高峰日进行回推轨迹模拟,来确定达州白背飞虱迁入种群的虫源地分布,并结合迁飞期间气象学信息分析影响白背飞虱迁飞的气象因素及其降落机制,以期为川东地区白背飞虱的有效防控及综合治理提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 资料来源

虫情资料:1991–2013 年白背飞虱历史灯诱虫情数据由四川省达州市达川区植保植检站提供(表 1)。1991–1995 年所用诱虫灯为自制 20 W 黑光灯;1996–2003 年为自制 200 W 白炽灯;2004–2013 年为加多虫情测报灯,光源为 200 W 白炽灯。

表 1 四川达州市达川区白背飞虱灯诱资料

Table 1 Data of light trap catches of <i>Sogatella furcifera</i> in Dazhou District, Dachuan City, Sichuan				
站点 Station	经度(°E) Longitude	纬度(°N) Latitude	历史资料年份 Duration of historical data	缺失年份 Missing years
河市镇 Heshi town	107.49	31.23	1991–2013	2007, 2008
麻柳镇 Maliu town	107.69	31.02	2007, 2008	–

由于达川区河市镇 2007 和 2008 年资料缺失,故用达川区麻柳镇 2007 和 2008 年虫情数据替代分析。Since the data of 2007 and 2008 of Heshi Town of Dazhou District were missing, we used the data of Maliu Town of Dachuan District in 2007 and 2008 instead in the analysis.

水稻生育期资料:从中国气象科学数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn>)下载。

气象数据:美国环境预报中心(The National Weather Service’s National Centers for Environmental

Prediction, NCEP) FNL (Final Operational Global Analysis)再分析数据(水平分辨率 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,时间间隔为6 h),从<http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/index.html#description>下载。

降水资料:从中国气象科学数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn>)下载。

地图资料:从国家基础地理信息中心网站(<http://ngcc.sbsm.gov.cn>)下载。

1.2 迁入高峰日的选择

根据《稻飞虱测报调查规范》(王建强等, 2009),划分各年度白背飞虱迁入峰。具体划分方法为:从灯下出现稻飞虱突增日到高峰后突减日为止,为一个峰期,峰期中虫量最多的日期为高峰日;前一峰的突减日和后一峰的突增日之间相距3 d以内(含3 d)的,则计入同一个峰期。为了增加峰日数,提高虫源地分析的准确性,选择每个峰期高峰日,以及峰期内虫量接近最高峰的峰日。

5月中旬至7月中旬白背飞虱迁入数量对达州稻区主害前代和主害代发生程度有重要影响(曾伟和李仁江, 2011)。5月初始迁入虫源白背飞虱灯下诱虫量极少,8月本地田间白背飞虱又大量繁殖,对判断迁飞虫源地有很大影响,所以本文重点对6–7月灯诱白背飞虱的迁入高峰日进行分析。

1.3 轨迹分析方法及参数设定

轨迹分析采用美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)与澳大利亚国家气象局(Australian Bureau of Meteorology, ABM)共同开发的大气质点轨迹分析平台HYSPLIT 4.8进行在线模拟。模型使用的数据为NCEP再分析全球格点数据。网址<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.Php>。

参数设定:(1)白背飞虱是顺风迁移的(邓望喜, 1981);(2)白背飞虱迁飞高度根据季节和各高度层温度不同而设,夏季迁飞高度集中在1 500 ~ 2 000 m(邓望喜, 1981),飞行的最适温度为17 ~ 22℃(刘芹轩等, 1982),结合达州的地形特点和不同高度的气温差异,设定轨迹起始高度为距地面800, 1 000, 1 500和2 000 m;(3)以降虫峰日作为回推起始日期,以此时间段内整点时刻为起始时刻,每隔1 h回推一次。达州6和7月份的日出、日落时刻分别为北京时间06:00和19:00左右,白背飞虱在日出前和日落后1 h内起飞(邓望喜, 1981; 刘芹轩等, 1982),设定回推起始时间为20:00至次日

05:00(转化为UTC时间分别为12:00–21:00);(4)以降虫峰日05:00作为起始时间,回推至前1日05:00(迁飞24 h),前2日20:00(迁飞33 h)2个白背飞虱起始时刻,对于20:00至次日04:00降落的虫群,每隔1 h回推1次分别回推24~32 h。

有效轨迹判定标准:(1)轨迹终止点的时间必须符合白背飞虱的迁出起飞节律(罗举等, 2011);(2)轨迹终止点必须在水稻种植区;(3)该稻区能提供白背飞虱的迁出虫源,并处于迁出高峰(刁永刚等, 2011)。以上3个条件缺一不可,以此进行轨迹的分析和取舍调整。

将得到的有效轨迹落点坐标在ArcGIS 10.0中与底图叠加后成图显示,根据落点坐标按 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 绘制网格,并通过色块颜色由深至浅描述各网格内落点由大至小的数量,进而获得虫源区落点概率图。

1.4 降落机制分析

利用气象图形处理软件Grads平台提取全球FNL再分析数据中850 hPa等压面的位势高度场、水平风场、垂直速度场及温度场等要素以及峰日地面降水数据,做出天气背景的诊断分析。

采用Microsoft Office Excel 2007对850 hPa大气流场做风向、风速统计分析。虫源地风向、风速分析代表站点选自于有效虫源地落点数量最多的网格区域。垂直速度场中垂直速度数值为正记为下沉气流,否则为上升气流。在达州,上空垂直速度绝对值大于0.1 Pa/s时记为有垂直气流。达州地面有降水则记为降水,上空有明显低压覆盖则记为有西南低涡影响因子。

2 结果

2.1 达州白背飞虱灯诱虫情特征分析

1991–2013年5–8月灯诱资料表明(图1),达州白背飞虱迁入虫量在各年度间存在差异,总诱虫量最大值出现在1991年,为77 640头,其次是2012年,数量为12 622头。诱虫量每年从6月上旬开始上升,6月下旬至8月上旬为其迁飞扩散高峰期。5月份平均诱虫量为18.09头,仅占5–8月平均诱虫量6 672.45头的0.27%,6月份平均诱虫量为177.90头,占总平均诱虫量的2.57%,而7月和8月的诱虫量占总诱虫量的97.14%。

四川达州本地无越冬虫源,诱虫灯下白背飞虱的始见日期即为外地虫源开始迁入的日期。1991–2013年灯诱资料显示(图2),达州白背飞虱始见期

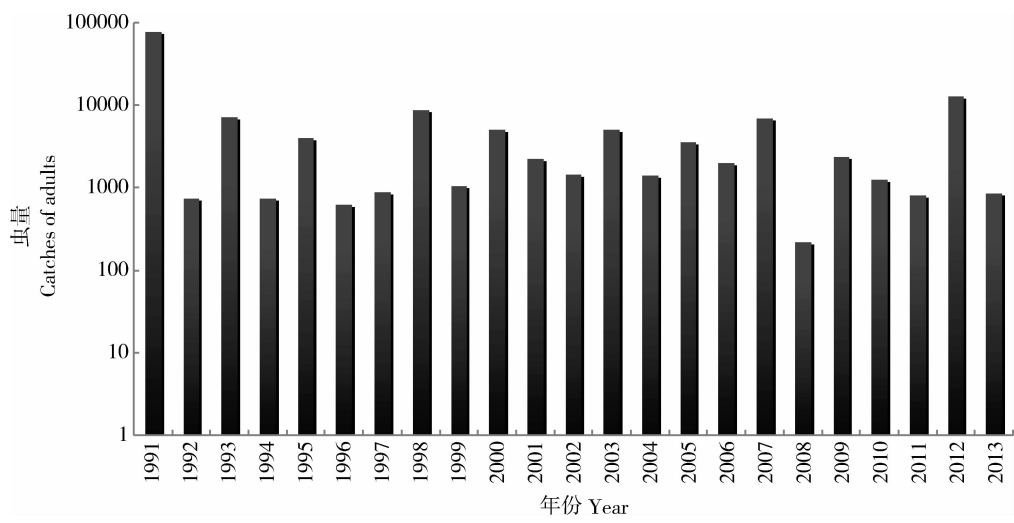


图1 1991 – 2013 年 5 – 8 月四川达州白背飞虱灯诱虫总量(头)

Fig. 1 Light-trap catches (number of individuals) of *Sogatella furcifera* in Dazhou, Sichuan from May to August from 1991 to 2013

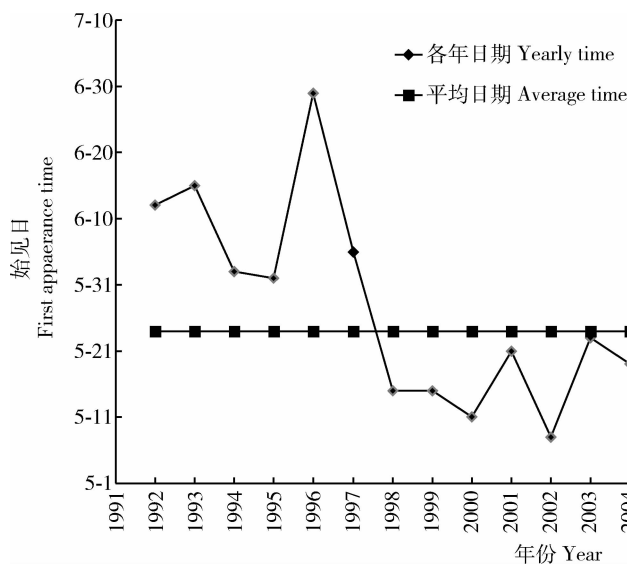


图2 1991 – 2013 年四川达州白背飞虱始见日

Fig. 2 The first appearance date of light-trap catches of *Sogatella furcifera* in Dazhou, Sichuan from 1991 to 2013

呈现明显的提早趋势,最早出现在 2012 年 5 月 4 日,最晚出现在 1996 年 6 月 29 日,历年平均始见日为 5 月 24 日。始见日在不同月份出现频率差异明显,5 月出现的频率较大,其次为 6 月上旬。达州地区白背飞虱开始迁入期主要集中在 5 月中旬至 6 月上旬,早发重发年份可在 5 月上旬初始见。

2.2 白背飞虱虫源地分析

运用 HYSPLIT4.8 对达州 1991 – 2013 年 6 – 7 月白背飞虱 282 个迁入高峰日进行回推轨迹分析。结合每个落点的水稻生育期情况,筛选得到有效轨迹落点 3 554 个,并将有效落点划分为 82 个小区(图 3)。结合风向将 82 个小区进一步归类为西南风虫源区(1 – 46)、南风虫源区(47 – 55)和东南风

虫源区(56 – 82)。

6 – 7 月份达州白背飞虱虫源地主要分布在贵州中部、南部以及云南东北部,广西西北部也可以提供部分虫源。在划分的 3 个风区中,西南风虫源区共有落点 2 661 个,占总落点数的 74.87%,南风区共有落点 460 个,占总落点数的 12.94%,东南风区共有落点数 387 个,占总落点数的 12.18%。在 82 个小区中,落点数为 194 个的 34 区最多,占总落点数的 5.45%,其次是 42 区和 41 区,分别为 176 个和 149 个,占总落点数的 4.95% 和 4.19%。

对达州各月、旬的虫源地分析(图 4),6 月份回推轨迹落点主要集中在第 44 – 45,48 – 49 和 63 – 64 区,为广西西北部和中部。7 月上旬回推轨迹落

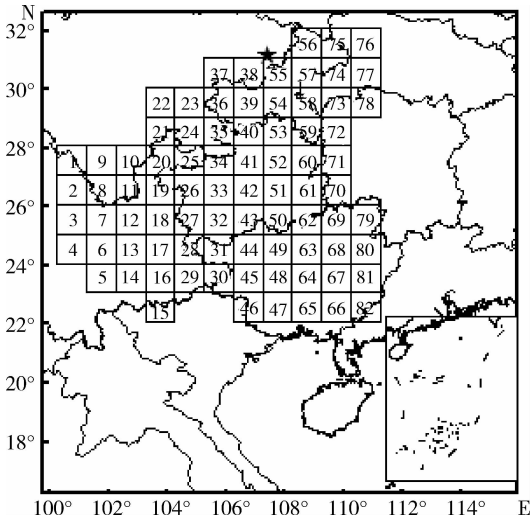


图3 四川达州白背飞虱虫源地区划分
Fig. 3 Distribution of source areas of *Sogatella furcifera* in Dazhou, Sichuan

★: 达州 Dazhou. 图中数值示小区编号。Numerals in the figure denote the subdistrict number.

点主要分布于第 25 - 26, 19 - 20, 11 - 12 和 30 - 31 区,为贵州西部、云南东北部以及广西西北部。7 月中旬落点主要分布于第 32 - 33 和 41 - 42 区,为贵州中部,云南西北部也可提供部分虫源。7月下旬

落点主要分布在第 41 - 42 和 52 - 53 区,主要为贵州中部、北部。

2.3 白背飞虱降落机制分析

2.3.1 各虫源区风场分析: 根据达州白背飞虱各月份主要虫源区的气象数据,对 2007,2009 和 2012 年这 3 年 6、7 月份 850 hPa 等压面风向进行统计分析(表 2)。其中东兰位于广西西北部、达州的南部,是达州白背飞虱 6 月虫源代表区域,其南风占 50.00%。7 月上旬的主要虫源区贵州与云南交界的毕节和贵州与广西交界的百色,位于达州的南偏西方向,两地都以南风为主,分别占 54.84% 和 67.74%。7 月中旬的主要虫源区位于达州南部的贵州遵义和西南部的云南师宗,南风和西南风分别占 63.44% 和 37.63%。7 月下旬主要虫源区为贵州东北部思南和云南东北部曲靖,分别位于达州的南部和西南部,南风和西南风分别占 52.69% 和 25.81%。因此,白背飞虱借助气流完成从各个虫源地迁飞至达州,高空白背飞虱的迁飞方向基本和气流一致。对 8 个站点的风速进行统计(表 3),运载气流主要集中分布在 5 ~ 12 m/s,部分地区 6 - 7 月主要为小于 5 m/s 气流,各地虫源地出现低空急流

表 2 白背飞虱各虫源区 850 hPa 等压面 2007, 2009 和 2012 年 6 - 7 月风向频率分布
Table 2 Wind direction frequency distribution of source areas of *Sogatella furcifera* from June to July in 2007, 2009 and 2012

站点 Station	风向频率 Wind direction frequency (%)							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
广西东兰 Donglan, Guangxi	11.11	11.11	4.44	13.33	50.00	8.89	1.11	0.00
广西百色 Baise, Guangxi	3.23	5.38	5.38	12.90	67.74	3.23	1.08	1.08
贵州毕节 Bijie, Guizhou	8.60	3.23	4.30	10.75	54.84	2.15	3.23	12.90
贵州思南 Sinan, Guizhou	4.30	4.30	7.53	11.83	52.69	9.68	4.30	5.38
贵州遵义 Zunyi, Guizhou	4.30	5.38	3.23	7.53	63.44	4.30	4.30	7.53
云南曲靖 Qujing, Yunnan	1.08	7.53	9.68	13.98	36.56	25.81	2.15	3.23
云南师宗 Shizong, Yunnan	3.23	7.53	7.53	10.75	21.51	37.63	9.68	2.15

表 3 白背飞虱各虫源区 850 hPa 等压面 2007, 2009 和 2012 年 6 - 7 月风速分布频率

Table 3 Wind speed distribution of source areas of *Sogatella furcifera* from June to July in 2007, 2009 and 2012

站点 Station	风速分布 Wind speed distribution (%)		
	<5 m/s	5 - 12 m/s	>12 m/s
广西东兰 Donglan, Guangxi	36.67	53.33	10.00
广西百色 Baise, Guangxi	21.51	76.34	2.15
贵州毕节 Bijie, Guizhou	96.77	3.23	0.00
贵州遵义 Zunyi, Guizhou	54.84	45.16	0.00
贵州思南 Sinan, Guizhou	39.78	48.39	11.83
云南曲靖 Qujing, Yunnan	100.00	0.00	0.00
云南师宗 Shizong, Yunnan	100.00	0.00	0.00

(大于 12 m/s) 较少。白背飞虱在迁飞的大部分时间里飞行速度并非很快,所以白背飞虱主要虫源地与达州地区的距离并不太远。

2.3.2 白背飞虱迁入时期达州降虫风场及地形因素分析: 由于 2007,2009 和 2012 年为达州白背飞虱大发生年份,本研究对达州这 3 年 6 - 7 月份各迁入峰日 850 hPa 等压面上的风向做频次统计。3 年的统计结果显示达州 6 - 7 月以南风、东南风和东风为主,3 种风向频次累计总和占总频次的 58.47%,其中南风所占比例最大,为 28.96%,其次为东南风,占 16.93%(图 5)。因此,从白背飞虱迁入时期达州 850 hPa 高空风场分析来看,白背飞虱虫源区

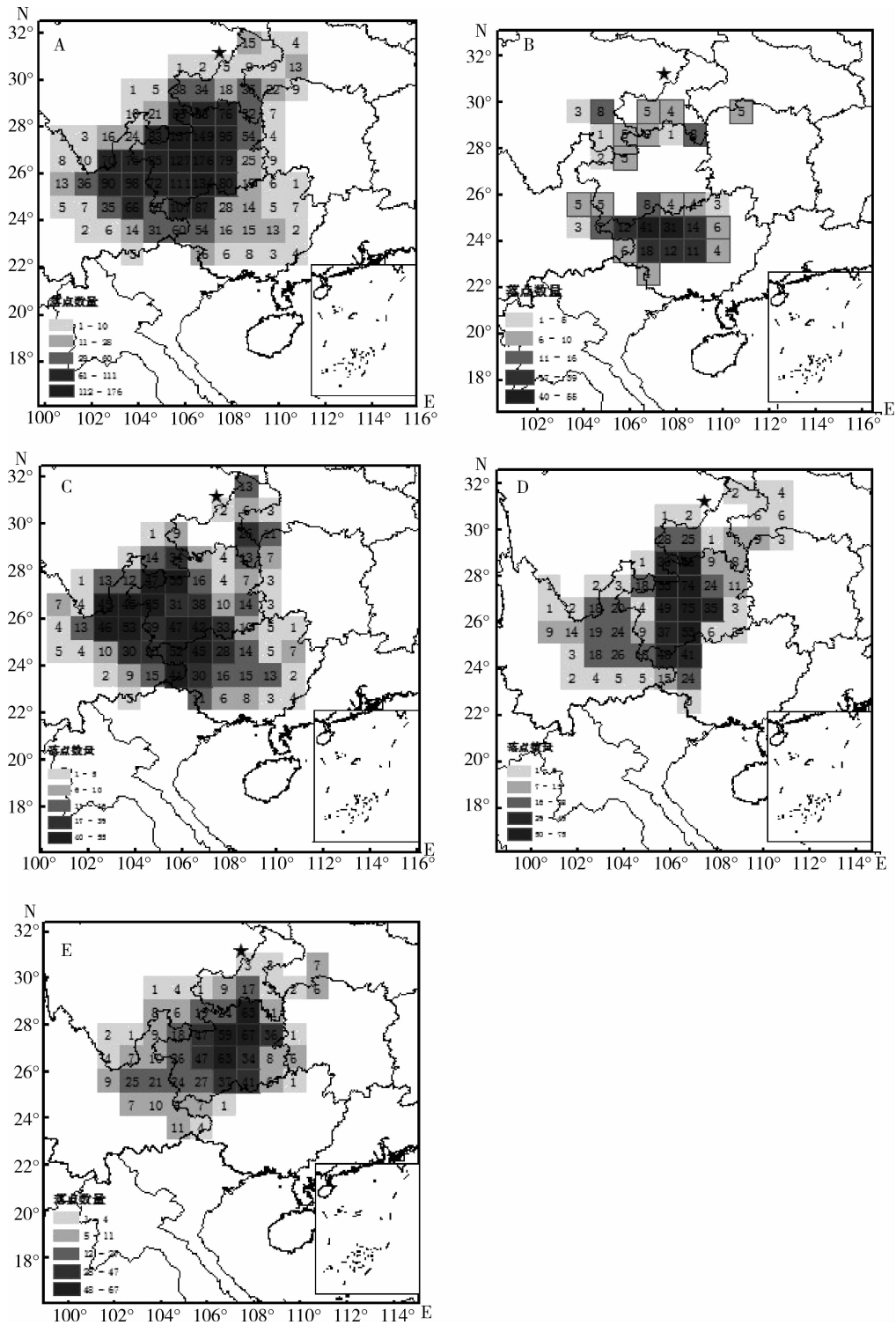


图4 1991-2013年6-7月四川达州白背飞虱虫源地分布

Fig. 4 Distribution of source areas of *Sogatella furcifera* in Dazhou, Sichuan from 1991 to 2013

A: 6-7月 June to July; B: 6月 June; C: 7月上旬 Early July; D: 7月中旬 Middle July; E: 7月下旬 Late July. ★: 达州 Dazhou.

图中数值示落点数量。Numerals in the figure denote the number of landing sites.

主要分布在其偏南方向。

如2009年7月11日(图6: A),从广西西北部、云南东北部而来的暖湿气流与从甘肃、内蒙西北而来的干冷气流在川东区域附近产生冷锋切变,形成强对流天气,气流遇冷下沉,使得白背飞虱在冷锋切变区域大范围降落,因而在该区域产生大量迁入虫量。又如2012年7月12日(图6: B),在川东区域,形成西部干冷、东部暖湿、环绕中心是强对流气

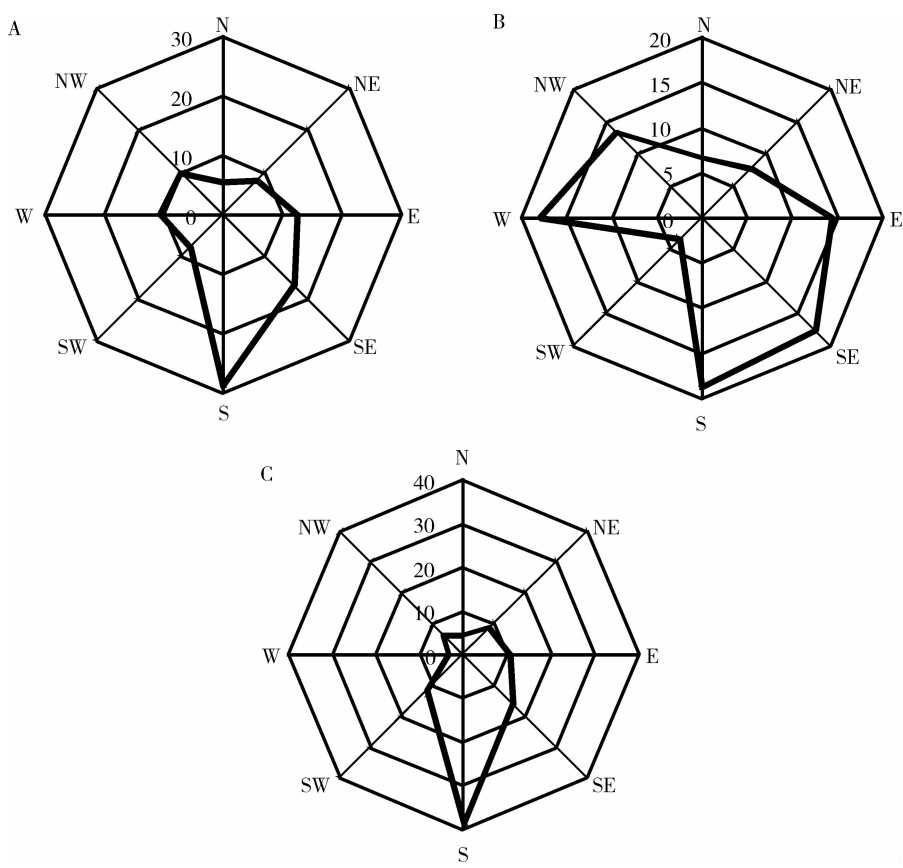


图 5 2007, 2009 和 2012 年 6 - 7 月四川达州 850 hPa 等压面风向玫瑰图

Fig. 5 Wind roses at 850 hPa isobaric surface from June to July in 2007, 2009 and 2012 in Dazhou, Sichuan
A: 6 - 7 月 June to July; B: 6 月 June; C: 7 月 July.

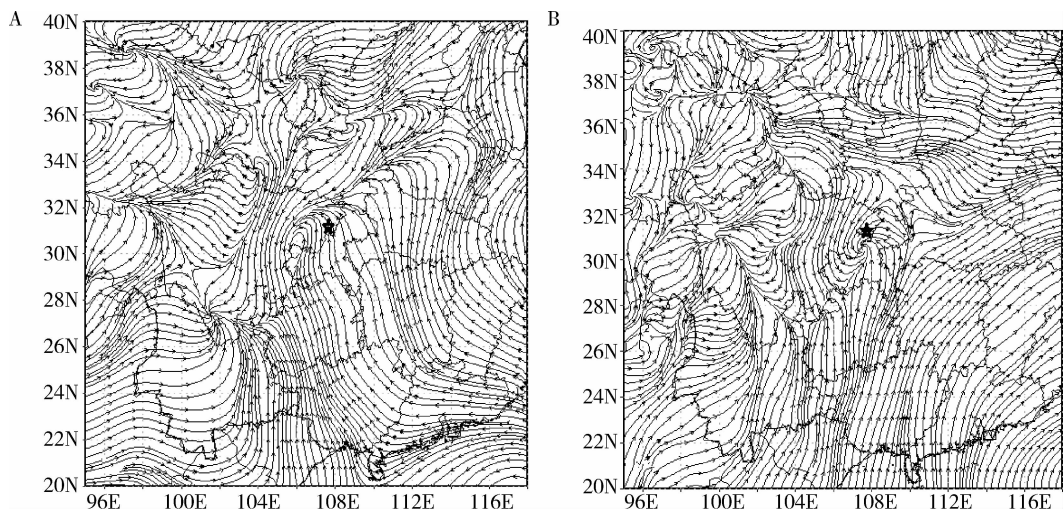


图 6 2009 和 2012 年四川达州白背飞虱迁入峰在 02:00 时 850 hPa 上的水平风场

Fig. 6 Horizontal wind field on 850 hPa at 02:00 in the immigration peaks of *Sogatella furcifera* in Dazhou, Sichuan in 2009 and 2012

A: 2009 年 7 月 11 日 July 11, 2009; B: 2012 年 7 月 12 日 July 12, 2012. ★: 达州 Dazhou.

旋式的环流,该区域北部以东北风为主,使得南来的气流在迎风坡产生质量堆积,受重力影响,气团出现重力下沉,形成下沉气流,导致气层中或气团中的白

背飞虱被迫降落地面,产生大量迁入虫量。
地形胁迫也会导致迁飞性昆虫的降落(胡高等, 2007),其原因主要有两点:(1)由于地形抬升

使暖湿气流辐和上升, 绝热冷却凝结和碰撞增长成云致雨, 而降水胁迫导致飞虱降落; (2) 地形的动力阻隔作用, 随着地势升高温度降低, 迫使飞虱由于生理适应而降低飞行高度, 最终降至地面。由于 6-7 月降虫区达州及虫源地云贵高原山脊海拔大多在 1 000 m 左右, 在这种海拔高度上 850 hPa 大气温度普遍高于 16℃, 可见, 地形屏障并不会阻挡白背飞虱北迁, 故此区降虫多主要应是第一种原因所致。具体分析, 达州地形总趋势北麓高, 东南低, 达州铁山一线以东的东南部是四川盆地东平行岭谷区的一部分, 由 4 条东北-西南走向山岭、背斜与向斜谷地平行排列组成(引自达州政府信息公开平台), 本文诱虫史料来源的诱虫灯位置正好处于山岭之间的河谷平坝地带, 这种地形有利于从西南(或东南)方向迁飞来的白背飞虱虫源进入该区。同时, 受南低北

高地势抬升和秦岭、大巴山的阻挡, 容易形成“地形泵”, 产生垂直气流, 夏季集中多发暴雨、阵雨天气(引自达州政府信息公开平台), 使南迁而来的白背飞虱在气流下沉范围内大规模集中降落。

2.3.3 白背飞虱迁入的降落机制: 对达州 2007, 2009 和 2012 年 32 个迁入高峰日的白背飞虱降落机制进行了分析(表 4), 其中 20 次与降水有关, 占 62.5%, 其中 4 次主要由于西南涡影响降水, 占 20%; 15 次与垂直气流有关, 占 46.87%; 11 次降虫峰与风向切变有关, 占 34.37%; 有 3 次降虫峰与下沉气流有关, 占 9.37%。降水, 垂直气流和风向切变是迫使白背飞虱集中降落达州稻区的重要气象因素。

以 2009 年 7 月 12 日为例, 进行个例分析(图 7)。7 月 10-12 日达州灯下单日诱虫量由前几日的

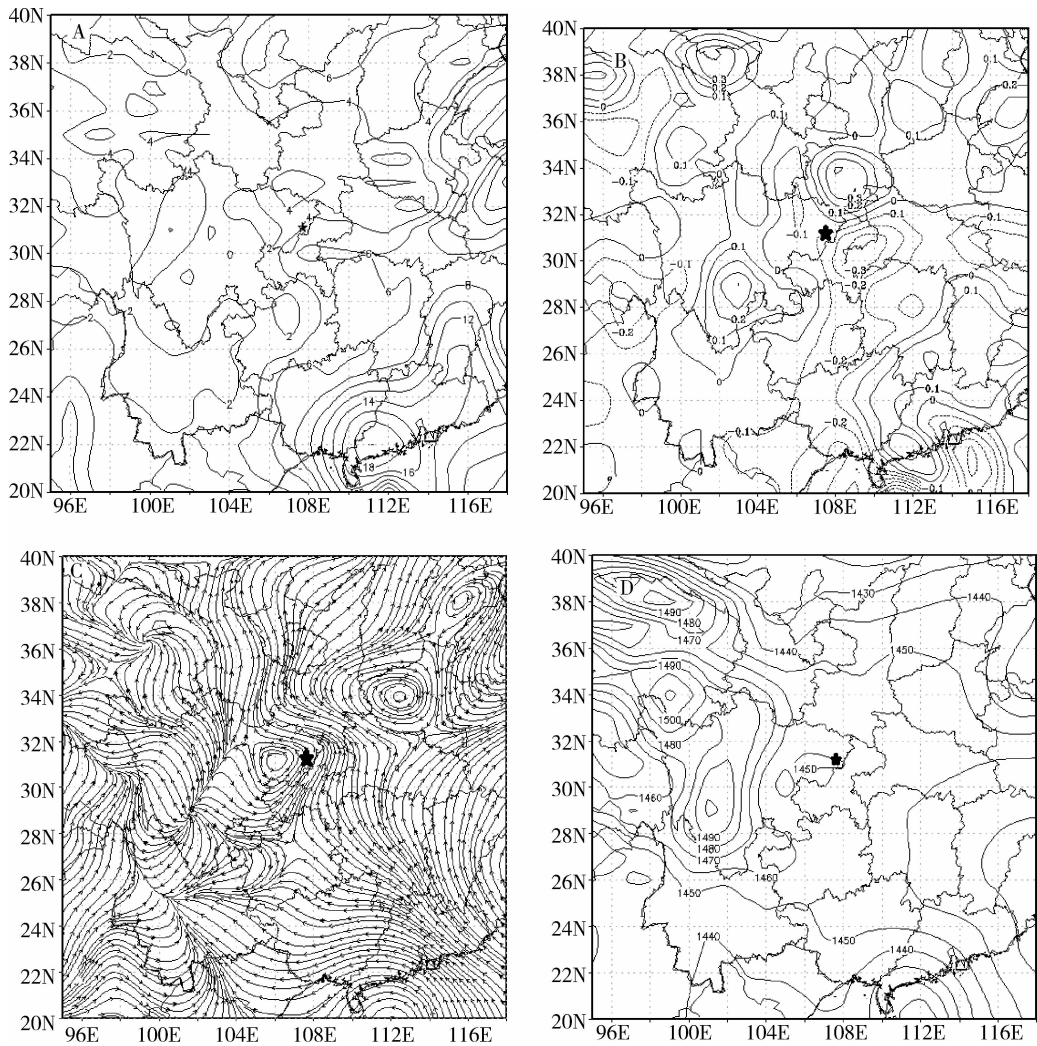


图 7 2009 年 7 月 12 日 02:00 四川达州 850 hPa 高度上的风速分布(A)、垂直速度场(B)、水平流场(C)和位势场(D)

Fig. 7 Distribution of wind speed (A), vertical velocity (B), horizontal flow (C) and geopotential field (D) on 850 hPa in Dazhou, Sichuan at 02:00, July 12, 2009

几头突增至百头,分析气流条件可知,7月9日达州850 hPa 高度存在一股西南低空急流,急流中心在贵州东南部,最大风速达 18 m/s,横跨黔渝之后减弱至 4~12 m/s,10-12 日的 850 hPa 高度达州上空盛行 4~6 m/s 东南偏南气流。此次降虫可分析如下,自云东北、桂西北以及黔东南而来的暖式气流,在陕西南部遇到由蒙古、青藏高原北侧的西北急流形成强对流天气,产生冷锋切变。由偏南气流带来大量水汽,在强对流天气中不断爬升高度,产生垂直气流,形成对流云团,对流性降水区域位于低涡中心附近(降水图略),明显的位势高度值偏低,产生的低涡中心覆盖了达州地区,达州 24 h 内降水量累计 63 mm,从南迁飞跨越狭长无雨区的白背飞虱,降雨使其被迫降落。此次迁入轨迹落点 9 日位于云南东北部,10-12 日位于贵州中部及重庆中部,为有效虫源地。

表 4 6-7 月份四川达州白背飞虱主要迁入峰日的
影响降落的气象因子

Table 4 Meteorological factors in the major
immigration peaks of *Sogatella furcifera*
in Dazhou, Sichuan from June to July

迁入峰日 Peak day	降落因子 Landing factors			
	风向切变 Wind shear	下沉气流 Downdraft	垂直气流 Vertical airflow	降水 Precipitation
2007-7-9			+	+ *
2007-7-10	+			+
2007-7-11				
2007-7-12		+		+
2007-7-13		+	+	+
2009-7-10	+		+	+ *
2009-7-11	+		+	+
2009-7-12	+		+	+ *
2009-7-13				+
2009-7-15				
2009-7-16			+	
2009-7-17			+	
2009-7-18			+	
2009-7-19				
2009-7-20			+	
2009-7-21			+	
2009-7-22			+	+
2009-7-27		+	+	+
2009-7-28	+			
2012-6-8	+			
2012-6-9				+
2012-7-1				+
2012-7-2				+
2012-7-7	+			+
2012-7-8				
2012-7-9			+	+
2012-7-12	+		+	+ *
2012-7-13	+			+
2012-7-14	+			
2012-7-19	+			
2012-7-28				+

+ : 造成集中降落的气象因子 Factors causing the immigration peaks of *S. furcifera*. * 降水受西南涡影响 Precipitation influenced by Southwest vortex.

3 讨论

近年来,白背飞虱在国内的暴发频率显著增高,给各地水稻安全生产带来了极大的威胁。四川省内尤其是东南部稻区白背飞虱连年重发,据四川省农业厅植保站统计,2007 年该虫特大发生,危害面积 69.53 万公顷,占全省播种面积的 1/3,造成损失 128 万吨,2012 年更是四川稻区近 60 年来稻飞虱暴发的特大发生年。达州地处四川东部,是全国商品粮食基地县,其气候特点、地貌特征和迁飞性害虫发生特点在川东地区具有明显的区域代表性。研究达州地区白背飞虱的始迁入期早、迁入虫量大、危害情况,这对于明确达州稻区白背飞虱的虫源地和降落机制,以及监测和防控治理四川东部和川西稻区白背飞虱意义重大。

3.1 白背飞虱虫源地讨论

本研究发现,达州 6 月份迁入高峰轨迹回推落点位于广西西北部、中部。此时纬度处于 23°~25° N 之间的广西地区早稻处于分蘖至孕穗期,白背飞虱已在全区普遍发生,白背飞虱在该区迁入繁殖后或本地虫源繁衍,能有足够量的长翅型成虫外迁,迁出的白背飞虱借助盛行的偏南气流北迁,为川东地区的达州提供前期迁入虫源。因此,达州 6 月份虫源主要来自广西西北部、中部地区。

7 月上旬,轨迹落点主要位于贵州西部、云南东北部和广西西北部。贵州一季稻此时处于分蘖期,自 5 月下半月迁入的白背飞虱在此区大量繁殖,能够提供虫源;云南东北部一季稻处于分蘖至孕穗期,其田间繁殖的虫量能够提供虫源;广西西北部此时早稻普遍处于孕穗至灌浆期,是大量繁殖后的白背飞虱成虫迁出的生育时期,可以为白背飞虱北迁提供足够的大量虫源。所以贵州西部、云南东北部和广西西北部都能为川东达州提供 7 月上旬的虫源。7 月中旬,回推轨迹落点位于贵州中部。贵州中部此时一季稻处于孕穗至抽穗时期,能提供虫源,所以达州地区 7 月中旬主要虫源地为贵州中部。7 月下旬,轨迹落点最多地区是贵州中部、北部,贵州中部、北部一季稻处于孕穗和抽穗、灌浆期,白背飞虱能够大量繁殖和迁出,所以能够成为虫源地。

3.2 白背飞虱降落机制讨论

稻飞虱在南北往返的迁飞过程中,起飞和降落都是在一定的大气动力背景下发生的,大气环流形势和大气流场的时空变化直接决定了它的降落区域

和时段(包云轩等, 1999)。根据翟保平和张孝羲(1993)研究认为, 携虫气流在遇到降水、风向辐合、下沉气流等外力作用时会被迫集中降落, 在飞行能源物质耗尽或温度骤变低于其飞行临界阈值时也会选择主动降落。根据郑大兵等(2014)对云南师宗早期迁入虫源地分析, 风向切变、气流的垂直扰动和降水存在于大多数的降虫过程中, 而低温屏障也起到了一定的作用。从大气背景上来讲, 达州属于亚热带季风性气候, 夏季受印度洋低压和西太平洋副热带高压的控制和影响, 在对流层(2 000 m 以下), 夏季炎热、多暴雨, 且盛行偏南风。综合分析发现, 降水、风向切变和气流的垂直运动是达州地区降虫过程中的重要气象因子, 其原因可能是地形胁迫与气候的综合影响的结果。本文中, 有 20% 的降水是受到了强烈的低涡影响, 地形的影响使得“西南低涡”成为达州地区风场的输送和改变的一个关键因素, 它对地区性的强降水, 以及迁飞的白背飞虱大量降落起到了增强和维持的作用。经研究发现, 在迁飞高度设置上, 高度较低的轨迹, 如 800 m 大都是无效轨迹, 而大于 1 000 m 高度能够较好地反映白背飞虱的迁飞过程, 这就是由于达州东南部平行岭谷地形的影响而成的结果。再加之, 山岭走向自东北向西南海拔顺势降低, 所以有效轨迹中自东而来、或东偏南而来的轨迹同样较少, 大都是西南、南或是南偏东方向的轨迹。

本研究所采用的轨迹分析平台对白背飞虱虫源地分布进行研究, 虽然加入了起飞节律、飞行高度、迁飞续航能力、地理地貌等生物学、地理学背景参数设置, 同时从水稻栽培制度等方面考虑筛选出了有效虫源地范围, 并从大气背景、运载气流、降水等方面分析了白背飞虱的降落机制, 但还需从虫源地虫情等实测情况分析并做进一步完善和验证。

参考文献 (References)

- Bao YX, Cheng JY, Cheng XN, 1999. Analysis on the meteorological backgrounds for the great events of *Nilaparvata lugens*, long-distance migration northward during midsummers in China. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 22(4): 35–40. [包云轩, 程极益, 程遐年, 1999. 盛夏褐飞虱北迁大发生的气象背景: 个例分析. 南京农业大学学报, 22(4): 35–40]
- Dang JT, 2007. The Southwest Weather of China. National Defense Industry Press, Beijing. 124–125. [党建涛, 2007. 西南天气. 北京: 国防工业出版社. 124–125]
- Deng WX, 1981. A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae) by means of airplane collections. *Acta Phytophylacica Sinica*, 8(2): 73–81. [邓望喜, 1981. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究. 植物保护学报, 8(2): 73–81]
- Diao YG, Zhang G, Yang HB, Qu YF, Zhang XX, Zhai BP, 2011. Migratory biology of the white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth): case studies on Huizhou, Anhui Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1222–1230. [刁永刚, 张国, 杨海博, 翟钰锋, 张孝羲, 翟保平, 2011. 白背飞虱的迁飞生物学: 安徽徽州个例分析. 应用昆虫学报, 48(5): 1222–1230]
- Ding JY, Wang WY, Yu SH, Zhang YA, Zhang WR, Zhao GX, 1997. High altitude insect nets in the application of white-backed planthopper monitoring. *Plant Protection*, 23(5): 28–30. [丁建云, 王文瑶, 余盛华, 张永安, 张文荣, 赵根霞, 1997. 高空捕虫网在稻白背飞虱监测中的应用. 植物保护, 23(5): 28–30]
- Feng CH, Zhai BP, Chen QH, Tang JY, 2003. Analysis of migration pathways of windborne rice planthoppers by 850 hPa winds. *Agricultural Meteorology*, 3(24): 31–35. [封传红, 翟保平, 陈庆华, 汤金仪, 2003. 利用 850 hPa 气流资料分析稻飞虱迁飞路径. 中国农业气象, 3(24): 31–35]
- Hu G, Bao YX, Wang JQ, Zhai BP, 2007. Case studies on the landing mechanisms of the brown planthoppers *Nilaparvata lugens* (Stål). *Acta Ecologica Sinica*, 27(12): 5068–5075. [胡高, 包云轩, 王建强, 翟保平, 2007. 褐飞虱的降落机制. 生态学报, 27(12): 5068–5075]
- Hu GW *et al.*, Scientific Research Coordinated Group for Planthoppers of Sichuan, Yunnan and Guizhou Provinces, 1982. Migration and occurrence of white-backed planthoppers and brown planthoppers in Southwest China. *Acta Phytophylacica Sinica*, 9(3): 179–186. [胡国文等, 四川、贵州、云南三省稻飞虱科研协作组, 1982. 我国西南稻区白背飞虱, 褐稻虱的迁飞和发生特点. 植物保护学报, 9(3): 179–186]
- Jiang CX, Qi HH, Yang XL, Zhang YH, Cheng DF, 2011. Using vertical pointing searchlight trap to monitor the population dynamics of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Acta Phytophylacica Sinica*, 3(38): 193–201. [蒋春先, 齐会会, 杨秀丽, 张云慧, 程登发, 2011. 稻纵卷叶螟种群动态变化的探照灯诱虫器监测. 植物保护学报, 3(38): 193–201]
- Liu QX, Lü WM, Zhang GF, 1982. Research on white-backed planthopper biology and ecology. *Scientia Agricultura Sinica*, 15(3): 59–66. [刘芹轩, 吕万明, 张桂芬, 1982. 白背飞虱的生物学和生态学研究. 中国农业科学, 15(3): 59–66]
- Luo J, Wang YK, Zhang XX, Zhai BP, 2011. Migratory biology of the white-backed planthopper: take-off and emigration. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1202–1212. [罗举, 汪远昆, 张孝羲, 翟保平, 2011. 白背飞虱的迁飞生物学: 起飞与迁出. 应用昆虫学报, 48(5): 1202–1212]
- National Coordinated Research Group for White Back Planthoppers, 1981. Studies on the migration of white back planthoppers (*Sogatella furcifera* (Horváth)). *Scientia Agricultura Sinica*, 14(5): 25–31. [全国白背飞虱科研协作组, 1981. 白背飞虱迁飞规律的初步研究. 中国农业科学, 14(5): 25–31]
- Shen HM, Lü JP, Zhou JY, Zhang XX, Cheng XN, Zhai BP, 2011. Source areas and landing mechanism of early immigration of white-

- backed planthoppers, *Sogatella furcifera* (Horváth) in Yunnan, 2009. *Acta Ecologica Sinica*, 31(15): 4350–4364. [沈慧梅, 吕建平, 周金玉, 张孝羲, 程遐年, 翟保平, 2011. 2009 年云南省白背飞虱早期迁入种群的虫源地范围与降落机制. 生态学报, 31(15): 4350–4364]
- Tang QY, Hu GW, Tang J, Hu Y, Cheng JA, 1998. Relationship between outbreak frequency of *Sogatella furcifera* (Horváth) and growing area of hybrid rice. *Journal of Southwest Agricultural University*, 20(5): 456–459. [唐启义, 胡国文, 唐健, 胡阳, 程家安, 1998. 白背飞虱猖獗频率增加与杂交稻面积增加的关系分析. 西南农业大学学报, 20(5): 456–459]
- Wang JQ, Zhang YJ, Liu Y, 2009. Specifications of investigation and forecast for the rice planthoppers (*Nilaparvata lugens* Stål and *Sogatella furcifera* Horváth) (GB/T 15794-2009). China Standards Press, Beijing. [王建强, 张跃进, 刘宇, 2009. 稻飞虱测报调查规范(GB/T 15794-2009). 北京: 中国标准出版社]
- Wang Z, Qi GJ, Lü LH, Hu Q, Yuan WX, 2011. Analysis of the source areas of early immigrant white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in Guangdong Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1253–1259. [王政, 齐国君, 吕利华, 胡芊, 袁维熙, 2011. 广东白背飞虱早期迁入种群的虫源地分析. 应用昆虫学报, 48(5): 1253–1259]
- Zeng W, Li RJ, 2011. The occurrence of the evolution law of Dazhou area over the years of rice planthopper. *China Plant Protection*, 31(6): 38–41. [曾伟, 李仁江, 2011. 达州地区历年水稻稻飞虱发生演变规律研究. 中国植保导刊, 31(6): 38–41]
- Zhai BP, Zhang XX, 1993. Behaviour of migrating insects: adaptation and selection to atmospheric environment. *Acta Ecologica Sinica*, 13(4): 356–363. [翟保平, 张孝羲, 1993. 迁飞过程中昆虫的行为: 对风温场的适应与选择. 生态学报, 13(4): 356–363]
- Zhang YH, Chen L, Cheng DF, Jiang YY, Lü Y, 2008. The migratory behaviour and population source of the first generation of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae) in 2007. *Acta Entomologica Sinica*, 51(7): 720–727. [张云慧, 陈林, 程登发, 姜玉英, 吕英, 2008. 草地螟 2007 年越冬代成虫迁飞行为研究与虫源分析. 昆虫学报, 51(7): 720–727]
- Zhao Y, Zhang XX, Zhai BP, 2011. Identifying the source regions of Southern rice black-streaked dwarf virus transmitted by *Sogatella furcifera* (Horváth) in Shangyou, Jiangxi Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1321–1334. [赵悦, 张孝羲, 翟保平, 2011. 江西上犹 2009、2010 年南方水稻黑条矮缩病的毒源地分析. 应用昆虫学报, 48(5): 1321–1334]
- Zheng DB, Cui MH, He HP, Shen HM, Hu G, Chen X, Zhai BP, 2014. Source areas and landing mechanisms of early immigrant population of white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) in Shizong, Yunnan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 34(15): 4262–4271. [郑大兵, 崔茂虎, 何洪平, 沈慧梅, 胡高, 陈晓, 翟保平, 2014. 云南师宗白背飞虱前期迁入种群的虫源地分布与降落机制. 生态学报, 34(15): 4262–4271]

(责任编辑: 袁德成)